中華農業氣象 (Chinese J. Agromet.) 8 : 35 - 54, 2001

研究報告(Original Paper)

遙測推估南台灣不同土地利用溫度、植生指標之研究

甘俊二[1] 陳鈞華[1] 蔡金川[2]

[1] 台灣大學生物環境系統工程學系 [2] 行政院農業委員會農業試驗所

摘 要

本研究利用遙測理論推估氣溫之便利及時性，所得溫度及植生指標之定量解析。利用 1998 年 NOAA 氣象衛星及 SPOT 地面衛星資料推估不同土地利用(水田、都市、蔗田、森林、漁塭)之溫度變化趨勢：由等溫線圖顯示都市之溫度爲高溫集中區，水田及森林溫度較低，而旱田溫度則介於二者之間。由溫度與 NDVI 之分佈圖顯示。其 NDVI 變化高低順序分別爲森林、旱田、水田、都市、魚塭。水田之 NDVI 分佈範圍較窄 (0.0889～0.149)，然隨田間生育階段之不同而有較大範圍之溫度變化 (21.3～33.5℃)，其點分佈呈直橢圓狀。旱田之溫度 (23.0～39.7℃) 及 NDVI (0.07～0.33) 變化範圍均大，其點分佈略呈圓形。都市之平均 NDVI 頗低 (-0.07～0.0532)，溫度偏高 (28.6-39.9℃)，分佈略呈偏斜之橢圓狀。在台灣 NDVI-T 之變化圖中顯示，該加權常數不爲線性關係，無法使用 NDVI-DSTV 三角形內推估區域內某點未知溫度及 NDVI 公式。植物因蒸發散作用使附近溫度之降低公式，應加上作物溫度修正係數 Kt，適用於台灣水、旱作混植區之情形。

關鍵詞：遙測、不同土地利用之溫度變化。

Study on Evaluation Temperature and NDVI of Different Land Use by Remote Sensor Method in Southern Taiwan

Chun-E Kan [1], Jen-Hwua Chen [1] and Jin-Chuan Tsai [2] ([1] Department of Bioenvironmental System Engineering, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, ROC.; [2] Department of Agricultural Engineering, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.)

ABSTRACT : Remote sensor method to evaluate regional temperature and vegetation index have been analysis quantifiably in this study is more convenient and promptly than others method. The trends of temperature in different land use (paddy field, urban area, sugarcane field, forest, fishpond) had been estimated by NOAA metrology and SPOT satellite image data in 1998. Temperature contour map of different land use had been revealed what land use of concentration zone from high to low sequences were urban area, sugarcane field and paddy field. The sketch of temperature vs NDVI (Normalization deviation vegetation index, NDVI) had been shown what from high to low sequence of NDVI were contrary to temperature. The shape distribution of NDVI (0.0889-0.149) in different land use had been shown that paddy field was presented a vertical ellipsoid form because of cropping pattern period mixing pudding water, ill-drained, and well-drainage paddy field; urban area was presented an oblique ellipsoid shape because that mean value of NDVI (-0.07-0.0532) was very small but of which

本文得以完稿，承蒙嘉義氣象站李炳和技士、農業工程研究中心譚智宏組長在水稻栽種期間不吝指正，使得本實驗如此順利進行，並感謝七星農田水利基金會及農委會計畫經費補助，完成本篇試驗研究。

temperature (28.6-39.9℃) was large relatively and sugarcane field was presented a circular shape. It can be evaluated the temperature of unknown location for a given region by using NDVI-DSTV triangular approach estimation method in Florida (Chen *et al.*, 2001)but that method cannot be suitable for use in Taiwan because of being nonlinear relationship in those weighting constants. It's recommended to magnify the crop-temperature coefficient (Kt) for modifying the formula of cooling down neighborhood temperature caused by vegetal evaportranspiration effect in which can be applied to mixed cropping pattern of rotation block in Taiwan.

Key words : Remote sensor, Land use, Temperature change.

前　言

人類對土地利用予以大規模改變，此行動會以氣溫增高之趨勢正持續增加最為明顯。全球由於溫室效應所造成之氣候變遷及局部地區因都市化及工商化等之影響，造成各地氣溫上升。全球平均氣溫在1900～1994年間上升0.5℃ (IPCC, 1995)。吳(1994)以統計分析，看出台灣地區氣溫全年有上升趨勢。然而都市化對當地所產生之影響已逐漸重視；如台北市之暖化現象更形嚴重(楊，1994)。吳(1994)又指出台北市自1980年起年平均氣溫明顯上升，其間之平均氣溫上升率約為0.09℃ yr^{-1} (徐等，1994)，但吾人所關心是區域土地利用之變異與溫度之影響。

事實上水稻灌溉發展地區，有其自然環境及歷史社會背景，且存有相當時間。對地域水之循環生態已有相當定型與貢獻。水田灌溉係在溫暖多雨地區，利用自然環境資源系統所形成之土地利用方式。水田因湛水，大面積之水稻蒸發散量，具有對緩和氣溫之功能，使農村社區或鄰近都市具有涼化作用。水田湛水灌溉對地溫日夜溫差變小，使氣溫、溼度安定化(蔡，1994；大上等，1994)。

近年來國人所得提高，亦漸重視生活品質問題。降低溫度，以提供一個優良舒適居住環境，是我們當前追求課題。當然我們不可能終年藉者空調設備，去控制溫度。作物和緩氣溫之機制為：「由於作物群落所接受淨輻射，除部分供給土壤熱通量，此外其餘可轉為蒸發潛熱及可感熱之形式消耗。此二種之比率，不僅視作物群落周圍溫、溼度環境不同而異。可能受土壤性質，栽培密度之影響。植物群落可藉調整此二種熱能消耗比率，來改善對環境之適應。例如在日射強、氣溫高之環境下，可藉潛熱之釋出而降低葉溫，以免罹患高溫障害。」

長久以來，水稻為國人主食，過去對於水稻或旱作相關研究甚多，多偏重於產量與氣象因子之相關研究(如蔡，1993等)或以氣象資料配合相關方法推估作物需水量(如陳等，2001)。進年來國外利用遙測方法推估不同土地利用下溫度或植生指標之研究甚多，如Jackson (1982)；Carlson等(1990)；Smith和Choundny (1991)；O'ttle和Vidal-Madia (1992)；Geotz (1994)；Humes等(1995)；Sommer's和M'egier (1998)。上述研究多針對該區域內單一土地利用型態(如都市或旱作)之溫度或植生指標之研究。但在台灣複雜土地利用型態(台灣為水旱田輪作及混植之情形；都市大量使用混泥土情形…)，該方法是否適用台灣，值得探討？

衛星遙測具有大範圍及同步性之優點，利用衛星資料推估大面積之表面溫度是可行，陳(1985)利用NOAA-9衛星AVHR

(NOAA AVHR 測得最高解析度爲 1.1 km^2) 第 2, 3 頻道亮溫與海面溫度，進行多重迴歸分析，並以多頻道法做水氣校正，所求海面溫度與實測船舶值比較，其均方值 (root mean square, R.M.S) 在 1.0℃ 以下。然而利用遙測技術監測土地利用情形，早期受限於空間解像力及加上邊緣反射及散射影響，易造成分類誤差影響探測精準度。周 (1986) 選用大地衛星多譜掃描資料 (MSS)，1972 年及 1984 年曾對台北地區土地利用 (林地、農地、水體、都市、裸露地) 變遷探測，其精準度約在 60%。林 (1996) 利用大地衛星 MSS 與 TM 多頻資料檢測大台南地區，探測精準度約在 80%。

劉 (1989) 以 SPOT 資料多譜影像，研究不同時期水稻光譜反射率，經大氣校正後建立水稻動態光譜特性。此法有效地減低不同影像因大氣條件影響，進而提高分類精確度，可供水稻絕對分類依據。

陳等 (1994) 以 SPOT 衛星高解像力多光譜資料，應用台灣水稻種植面積估測之可行性，對土地利用單純、天候狀況佳情況下，配合野外調查取得樣本，作爲分類訓練資料及決定分類依據。SPOT 影像估測水稻種植面積是可行，但在不同土地利用狀態和不良天候，會影響判釋分類精度。應用多時期資料，將一些不因時間改變地物先去除，則可得到較高分類精度。

Lenney 等 (1996) 利用 10 張自 1984 至 1993 年 Landsat 影像，研究尼羅河三角洲農地變遷，將埃及近 10 年土地變化 (一般農地、減產農地、都市地、都市擴張地)定量描述。

Morse 等 (1990) 藉由遙測及 GIS 資料結合，應用愛達荷州水資源處調整水權分配，利用 Landsat MSS 資料將全州土地利用分爲灌溉農地、旱地、非農地、水生植物、水體等，將數化公地測量系統 PLSS 相疊合，以 1：24000 比例尺製作全州土地利用圖，估算出各類別面積比，可推估各用水戶之用水量，而土地利用估算面積與農部以空照圖估算面積相關係數達 0.9。

Toan 和 Ribbes (1997) 利用 ERS-1 資料監測稻米生長區域，對印尼及日本地區水田。對不同生育季節稻米在雷達資料收集上有不同影像散射係數關係，成功將稻作區判釋出。

在今後環境保育日趨重要及人口增加所需糧食增產壓力下，水田所負擔責任重大，故需適切確立其應有地位。本研究目的即在確保國土永續利用及農業用水合理維護的前提下，探討台灣不同區域土地利用與溫度變化之探討，以遙測方法經由校正後判讀某區域之地表平均溫度，配合地面氣象站觀測氣溫資料，經由氣象高程等校正程序，可求得區域不同土地利用之溫度及植生指標之變化，期使分析結果顯示不同土地利用形式與溫度變化趨勢有所瞭解。可供決策單位對日後國土開發與溫度環境變化之參考。

材料與方法

一、小區域田間之作物生育類型判別及溫度判斷之論證

(一)試驗田之地理環境、佈置及觀測

本實驗在中央氣象局嘉義氣象站之實驗田進行，地理位置爲東經 120° 25´，北緯 23° 30´。該測站位居嘉義市農業區田區遼闊平坦之水稻栽種區。水稻插秧後至分蘗期，在田中央架設各種微氣候感應器，風速、溫度、濕度各爲 3 點 (3 種高度，最高者爲 3 公尺，最低者爲 30 公分，$\ln(z_{i+1})/z_i = 1/n \ln(H/h)$，楊 (1985)，式中：$z_i$：架設各種微氣候感應器 (風速、溫度、濕度) 之高度，公尺 (m)，n：風速、溫度、濕度各點之數目 (3 種高度 n=1 或 n=2 或 n=3)，H：未受擾動氣流之高度，在此

H=3m，h：水稻生育株高，公尺(m))，各點架設高度隨者水稻生長期而調整，並校驗準確度。淨輻射計向南架設2公尺高處，土壤熱通量計埋於表土下2公分處。所有感測器均利用電纜連接，將各種感應信號經由信號調諧器輸入資料收集器，以小時為單位計算基本均值，其結果資料可由印表機印出。

選用水稻品種為台梗12號，採用機器插秧方式於1998年7月2日，行株距30×18 cm，施肥量與田間管理依農林廳推薦法進行。試驗期間為第二期、第一期稻作(1998年7月2日-1999年6月1日)。

㈡不同地表覆蓋對溫度升高率之關係

對於各種土地利用之溫度量測，利用非接觸式紅外線溫度計測定。紅外線溫度計量測不同土地利用地表面所發出長波輻射，再依所設定不同種類的放射率，轉換成所需量測表面溫度。量測時紅外線溫度計需距受測物表面1公分，量測角度與受測物垂直。紅外線溫度計的讀數值，容易受到風或雲的干擾，使顯示溫度數值跳動，需待數值穩定後才予以記錄。為量測日最高溫度所觀測時間為1998年10月29日上午11時至下午14時，地點為台南農改場。不同土地利用下溫度變化圖，如圖1圖2所示。

二、利用氣象衛星影像推估地表平均最高溫度之材料

所選取不同土地利用種類分別為水田、都市、蔗田、森林、漁塭。平均最高溫度變化之研究材料如下：

(1)氣象資料：由中央氣象局購得地面氣象資料(含該測站之平均最高氣溫、海拔高度、經緯度)，資料年份為1987至1998年。利用Excel軟體，計算各站每年氣象資料(最高溫度與平均氣溫)之相關係數，所得相關係數為0.94～0.978。

(2)氣象衛星資料：由中央大學購得1998年NOAA氣象衛星，經選取當日全省各地區雲覆蓋少之氣象衛星資料進行分析。由航測所購得1998年SPOT地面衛星資料。所用影像處理溫度判讀軟體為Erdas Imagine 8.3.1版本，地理資訊系統(GIS)為PC ARC3.5.1版本。

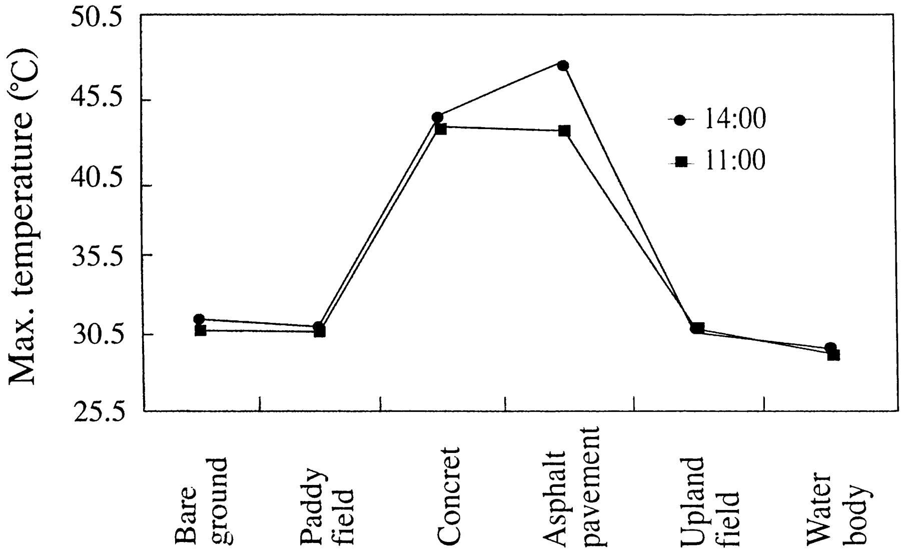


Fig. 1. Max. temperature change from 11:00 am to 14:00 pm on Oct. 29 by solar radiant heat in different land use.

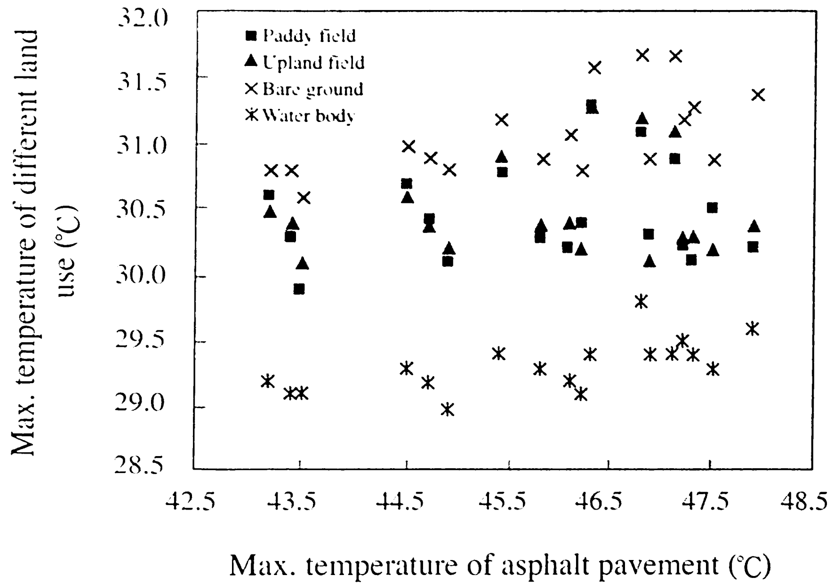


Fig. 2 Max. temperature change diagram of asphalt pavement vs. some kinds of land use from 11:00 am to 14:00 pm on Oct. 29

三、輻射溫度之推求公式

地表輻射溫度可由 NOAA 衛星影像波段，經由下式計算 (Smith and Choudhury，1991)：

$$T(E)=C_z\gamma/\ln(1+c_1\gamma^3/E) \quad (1)$$

式中：T:輻射溫度 (^{0}K)，波長中心量 (central wave number)=1/λ，c_1:常數 ($1.1941*10^{-5}$ Mw.m^{-2}str.cm^4)，c_2:常數 (1.43883cm.^{0}K)，E:遙測載具上感應器所測出之輻射量 (Mw)。

四、植物因蒸發散量會造成鄰近地表溫度降低之推估公式：

有植物生長之情況，由植物因蒸發散量會造成鄰近地表溫度降低之公式 (近藤，1994)：

$$Ts-Ta=((1-\alpha)Rs-LE-G)/(\rho Cph+4\sigma Ta^3) \quad 2$$

式中：Ts:地表之溫度 (^{0}C)，Ta:空氣之溫度 (^{0}C)，α 為短波反射率 (albedo)，Rs:太陽輻射能 (W m^{-2})，以一種短波型式進入地表之量，隨當地季節及緯度而改變，LE:蒸發散所吸收潛熱 (Latent Heat) (W m^{-2})，G:與地表下層交換的能量 (W m^{-2})，ρ 為空氣密度，Cp 為空氣比熱 (specific heat)，h 為攪動交換常數 (turbent exchange constant)，σ：為史帝芬-波茲曼常數 ($5.67*10^{-8}$ W m^{-2}k^{-4})。

在公式 (2) 中可探討地表附近溫度與蒸發散之關係，通常地底熱傳導項 G 在太陽輻射之固定比率時相對於其他項目則甚小，假設為可忽略不計。因此在一給定之氣候條件下 (固定 Rs, Ta, ρ, Cp, h)，地表附近溫度 Ts 與 LE 之關係為一線性遞減函數，亦即是當一定氣象條件下，蒸發散量愈大，LE 亦愈大，地表附近呈現之溫度將降低。

五、大區域內不同土地利用下溫度變化及 NDVI 之推估

研究範圍之選取：通常南區是指北港溪以南至屏東平原。本研究範圍所選取嘉南平原之土地利用 (水田、旱田、都市、森林與魚塭)，選取之理由為該區土地利用可

提供完整之分析樣本，如表 1 及圖 3 所示。高雄市因都市化快速，農地 (水田或旱田) 轉為他用，以至於農地面積崎零且狹小；高雄市為一港都，溫度之變化易受海洋季風之影響，造成溫度分析之複雜性。高雄縣保有大面積之水田地區為美濃、旗山地區。該地區受地形效應影響，夏季常有午後雷陣雨 (西北雨)，而雲層會造成衛星影像溫度判讀之誤差。屏東平原大面積水田原集中屏北 (高樹、鹽埔、九如、里港等)、屏南 (如萬丹、潮州、佳冬等) 地區，但部分農民因市場需求導向，自行變更土地利用情形，如改種檳榔、蓮霧或改為養殖漁塭等。形成水旱田混雜或旱田漁塭混雜分布之土地利用情形 (行政院經建會等，1998)。

SPOT 與 NOAA 衛星影像處理程序：由於 NOAA 氣象衛星影像之解析度為1.1 km^2，但可半小時接收衛星影像資料。而 SPOT 衛星影像之解析度為 $20\times20\ m^2$，但每天接收 2 次衛星影像資料。而 SPOT 與 NOAA 衛星影像之解析度不同，且影像資訊所代表之意義不同。但經過精準之幾何校正程序，即可將SPOT衛星影像之資訊套疊至 NOAA 氣象衛星影像上，將可進行溫度及植生指標之分析 (Smith & Choundny (1991))。

將相同日期之全台澎金馬的SPOT與最高氣溫時段 NOAA 衛星影像，選取 30 個控制點 (含中央氣象局全省 10 各主要氣象站) 進行精密之幾何校正疊加程序處理。如符合規範要求之精度，則 NOAA 衛星影像存有不同土地利用之資訊。

不同土的利用之面積選取原則：欲對作物生育期間進行精準判讀，必須選取不同時期且須選取大面積土地利用之 SPOT 衛星影像。如本研究旱作之選取，只能選取台糖蔗田為例。不同土地利用之選取原則與方法，為先參考各相關主管單位所發表之近期統計年報，以了解有無大面積之土地利用情形。如有則紀錄其所在地區，例如水田之選取則參考嘉南水利會之灌溉計畫書 (1997)，選取之水田為雲林大埤、台南佳里、台南六股等；同理分別預估出蔗田之位置為台南善化六分寮、台南北沙崙農場等；沿海地區因有養殖虱目魚等所以漁塭位置為高雄湖內、台南七股等；森林位置為曾文水庫北側之馬頭山、阿里山等 (植生覆蓋良好)。將 SPOT 衛星影像經由 GIS (地理資訊系統) 套疊後，SPOT 衛星影像即存有經、緯度座標系統，再經由監督式影像分類法使得不同土地利用情形再衛

Table 1. Land use situation in southern district

Item	Presented number	Land use	Location	Area (hectare)
Southern	6	Paddy field 1	Cha-li,Tainan county	1740
District.	2	Paddy field 2	Lui-gu,Tainan county	320
	1	Paddy field 3	Ta-pei,Yun-lin county	1090
	7	Sugar field 1	San-hua,Tainan county	580
	10	Sugar field 2	Peisalun farm, Tainan county	730
	9	Urban area 1	Tainan city	1510
	3	Urban area 2	Chay-i city	1110
	8	Fish pond 1	Hu-nay, koashung county	300
	11	Fish pond 2	Chi-ku,Tainan county	3010
	4	Forest area 1	Matoasan, Tainan county	1050
	5	Forest area 2	A-li-san,chay-i county	1940

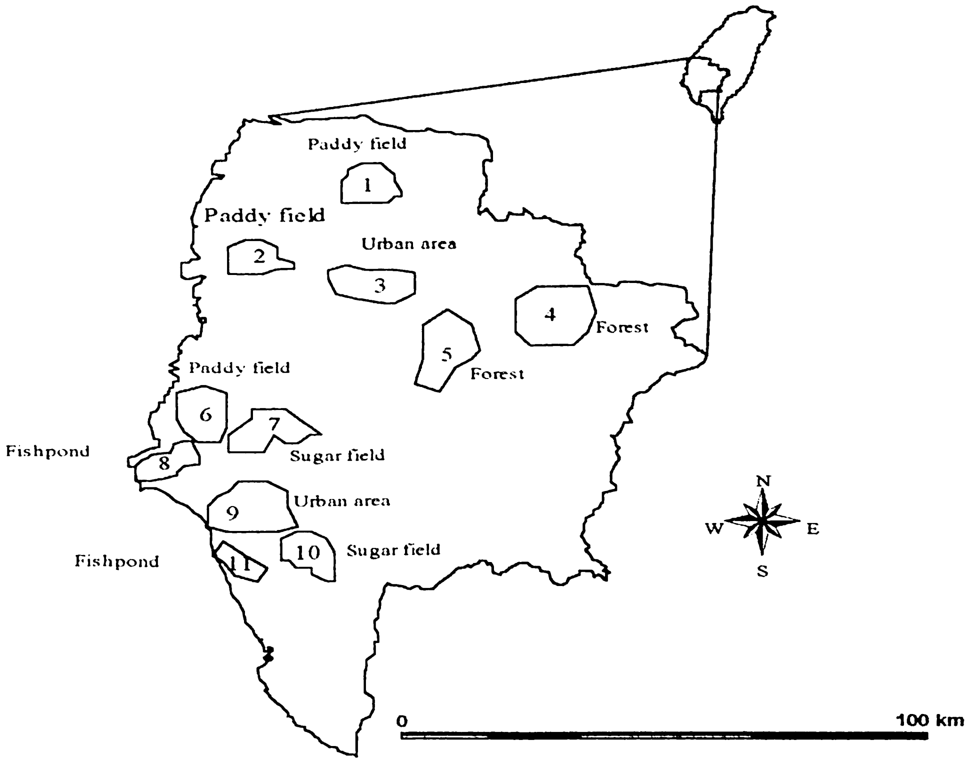


Fig. 3. Selected land use in the study area.

星影像圖中以不同顏色顯現。將相同顏色之範圍以多邊形圈選之，並即刻判讀所選多邊形之經、緯度，是否與預選土地利用之座標 (與嘉南平原地圖 1：22000 相比較) 相符？如符合則存檔。所選取多邊形面積之計算，可由 Erdas Imagine 軟體之內建巨集指令計算求出，如表 1所示。

表 1 及圖 3 內阿拉伯數字排列配合目視習慣之原則，數自由小到大、由北向南、由東向西排列順序爲 1, 2…11。使用之土地面積最大爲序號 11 達到 3010 公頃屬於漁塭 2 (台南七股)，最小是序號 8 (漁塭 1，高雄湖內)，面積 300 公頃才有最大者之十分之一。所得多邊形之面積大小亦可反映出當地地理、人文等特性。雖經由監督式影像分類群集演算求得多邊形之面積大小，表示目前該土地利用之最大範圍，未來將繼續探討不同土地利用之變更移轉溫度變化情形之預測。

NOAA 衛星影像推估地表溫度之流程：NOAA 氣象衛星影像有 7 個波段，本研究所需波段爲 1,2,4 波段，將所需波段合成爲溫度影像之假色合成圖，如圖 4 所示。

NOAA 衛星影像前級處理如輻射校正、幾何校正程序、溫度之假色合成圖等處理後，即進行不同土地利用下溫度推估表，由公式 (4) 可得。選取不同土地利用之 NOAA 衛星影像多邊形，由 Erdas Imagine 影像處理軟體所內建克利金區域分析統計法、二次項溫度推估法等。本研究採用克利金法，克利金內差法 (Kriging interpolation method) 爲通用空間變異分析法,由下式計算 (Smith and Choudhury, 1991)：

$$\gamma\,(d_{i,j})=1/2*\mathrm{Var}\,(h_i-h_j) \qquad (3)$$

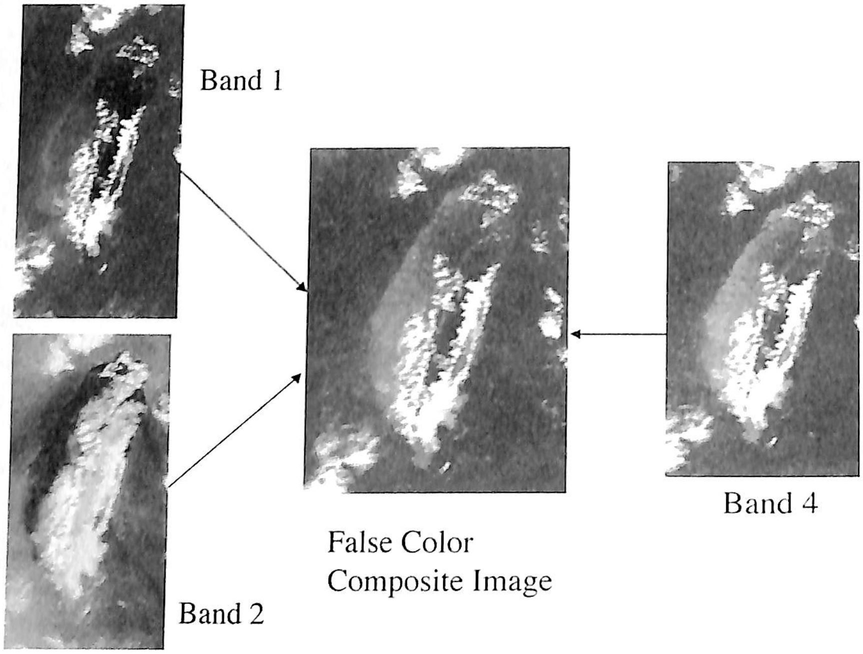


Fig. 4. False color composition images of NOAA satellite.

式中：為一距離 i, j 溫度函數之半變異圖 (semivariogram)。

都市為一複雜土地利用，內有工業區、綠地等，需分別對其各分區土地利用之散射率及面積，採面積加權平均計算出該都市平均散射率。台南、嘉義都市之散射率推估分別為0.9329,0.93604。

分別計算出選取多邊形之面積經度、緯度、高程及氣溫平均值，區域內各點溫度之統計量 (最高最低及平均氣溫、標準偏差)，該多邊形之氣溫平均值 Tr 需經過輻射校正程序 (Tr*em^(-4.5)，em:散射率)，各地高程不同因高程影響而使溫度差異，高程氣溫校正是以溫度傾率 (每升高 100 公尺，氣溫下降 0.6℃) 分別校正。選取區域內之多邊形內如無地面氣象觀測站，需選取鄰近氣象站 (如農業氣象站、水利局、林務局等) 氣象資料，與經過前項校正之遙測方法推估氣溫資料，進行線性回歸，求出溫度之斜率與截距，進行區域內溫度校正推估。經由面積加權平均計算，推估出不同土地利用之溫度變化，如表 2 所示。

為探討水田對不同土地利用下溫度變化是否顯著？採用 student' s t test 之溫度變化顯著性分析，所得如表 3 所示。

正規化植生指標 (NDVI) 之估算：為探討不同土地利用情形，可利用遙測去檢測不同屬性之地物具有不同光譜反射特性曲線。分析地物之光譜反射值，可得到其相對之資料量，為考量粹取特有資訊而發展出光譜指標，光譜指標可分為植被比指標、土壤修正值生指標、標準化偏差值生指標等，為求不同土地利用下探討作物生育階段溫度變化情形，本研究所採用正規化植生指標 (normalization deviation vegetation index, NDVI)。採用 NDVI 指標意義為：植被比指標會因地區及季節間之差異而有頗大誤差 (Moran *et al.*, 1994)，常無法直接利用此指標，比較不同地區 (或時間) 影像植生量之相對關係，如將近紅外光與紅光波段反射值之差值予以標準化轉換，即以其差值佔近紅外光與紅光反射值

之總量比値表示植生量方法，如式 (4) 所示，正規化値生指標値大者表示植生覆蓋良好，反之則否。NDVI 可免去植被比指標時間、空間差異影響，可供相對量比較。

$$NDVI=(NIR-R)/(NIR+R) \quad (4)$$

式中：NDVI:正規化値生指標，NIR:近紅外光波長 (μm)，R:紅光波段波長 (μm)。

在 NOAA 衛星影像及經由公式 (4) 計算，分別推估出 1998 年不同時期之面積加權平均的植生指標變化，如表 4 所示。

爲探討區域內不同土地利用下植物生長量多寡，植物之蒸發散量會降低地表附近溫度之現象，將表 2 及表 4 之結果結合，經使用 suffer 繪圖軟體，可分別推出南區不同土地利用下之溫度及植生指標變化圖，如圖 5 所示。

爲探討不同季節之區域內土地利用下的植物生長量變化情形，在處理過 NOAA 衛星影像圖上，分別計算出可代表各季節、各地方之 NDVI 變化値，經使用 suffer 繪圖軟體，求出各季節之植生指標變化圖，如圖 6 所示。同理，亦可分別求出各季節之溫度變化圖，如圖 7 所示。

結果與討論

一、小區域內不同土地利用下溫度之變化情形

由嘉義氣象站實測一、二期稻作與旱作 (甘藷) 植株不同高度下之溫度變化紀錄所知，水稻與旱作在小面積量測時，溫度變化差異不大，是乎無法得到「民眾對水田存在時，對鄰近農村有涼化作用之認知或體認」之結論，但由嘉義氣象站實測氣象資料，經由飽文法、空氣動力學法等計算所得水氣通量 (蒸發散量變率)、熱及動量通量之變化，可印證在小面積量測時溫度變化之熱傳導係數在垂直與水平方向之變化爲 KV (垂直方向之熱傳導係數) > KH (水平方向之熱傳導係數)。涼化作用之溫度變化現象存在，應爲熱在遠距離延者水平方向經過大面積水田後，微小溫差之疊積所造成。此原理如同遠方海面原先形成毛細波，經由風的吹襲產生堆積作用，一段距離後波浪逐漸升高之現象。對此微小溫差之疊積所造成之涼化作用，雖可由增加爲數甚多之自記觀測儀器，形成一複雜之氣象觀測網以解釋此涼化作用現象，但需花大量金錢。由遙測具有同步、大面積觀測之特點可分析此現象。

由圖 1 可知不同地表覆蓋率 (水田、旱田、裸地、水體、柏油) 在日最高溫 (14 時) 其溫度升高趨勢，由大到小排列順序爲 T 柏油路 (T=47.5℃) > T 水泥板 (T=44.2℃) > T 裸地 (T=30.7℃) > T 旱田 (T=30.5℃) > T 水田 (T=30.3℃) > T 水體 (T=29.1℃)。而另日最高溫 (11 時) 其溫度升高趨勢亦大致如此，只是日最高溫較低及 T 柏油路差距 (9 時與 11 時) 較大達約 4.8℃。

由圖 2 可知，11 時至 14 時之溫差趨勢，由大到小排列順序爲 ΔT柏油路 (ΔT=4.1℃) > ΔT 裸地 (ΔT=0.6℃) > ΔT 旱田 (ΔT=0.3℃)= ΔT 水田 (ΔT=0.3℃) > ΔT 水體 (ΔT=0.2℃)。其溫度升高趨勢之大小，可由物體之熱傳導係數値 (或物體之比熱) 之大小，予以解釋水體、柏油路、水泥板等溫度變化情形，本研究所得結果與大上 (1994) 結論類似。

圖 1 至圖 2 所得結果，可分別應用在遙測溫度及植生指標，可分別應用於水稻及旱作等爲衛星影像之監督分類之用及不同土地利用下之散射率之實測値。

二、大區域不同土地利用之溫度變化趨勢

表 3 之分析結果顯示，水田、漁塭、森林對都市較顯著，而水田、漁塭、森林之間較不顯著。不同土地利用下都市氣溫較其他型態爲顯著；如對照前人研究如徐

Table 2. Temperature relationship of different land use in southern district

Date	Season	Paddy field(℃)	Upland field (℃)	Urban area (℃)	Fish pond (℃)	Forest area (℃)
01/03/98	Winter	21.3	26.6	31.2	18.9	23.8
03/27/98	Spring	28.0	30.4	34.3	31.5	31.5
04/04/98	Spring	24.2	26.5	28.6	21.9	29.7
07/15/98	Summer	32.3	34.5	38.9	30.1	20.6
07/16/98	Summer	33.5	36.8	36.7	32.0	34.0
08/11/98	Summer	33.0	36.1	39.9	31.6	33.8
10/01/98	Autumn	30.6	32.6	37.6	27.7	30.1
11/15/98	Autumn	26.7	29.8	34.7	24.4	24.4
12/30/98	Winter	21.7	25.3	29.6	20.1	21.2
Mean	—	27.9	30.9	34.6	26.5	27.7
Standard deviation	—	4.75	4.31	4.07	5.25	5.23

Table 3. Significant analysis of temperature change in different land use

Items	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
(1)Paddy field		Not significant	Significant	Not significant	Not significant
(2)Upland field	Not significant		Not significant	Not significant	Not significant
(3)Urban area	Significant	Not significant		Significant	Significant
(4)Fish pond	Not significant	Not significant	significant		Not Significant
(5)Forest area	Not significant	Not significant	Significant	Not significant	

Table 4. Vegetation index change in different land use

Da te	Season	Paddy field	Upland field	Urban area	Fish pond	Forest area
01/03/98	Winter	0.1490	0.0908	-0.0483	-0.1569	0.2851
03/27/98	Spring	0.1459	0.1578	0.0532	-0.1103	0.1664
04/04/98	Spring	0.1072	0.0924	0.0511	-0.1710	0.0516
07/15/98	Summer	0.1472	0.3377	0.0424	-0.1071	0.0443
07/16/98	Summer	0.0889	0.2229	-0.0067	-0.0738	0.0365
08/11/98	Summer	0.1627	0.1218	-0.070	-0.1095	-0.0579
10/01/98	Autumn	0.1589	0.2314	0.0818	-0.0420	0.0486
11/15/98	Autumn	0.1146	0.1031	-0.0002	-0.0928	0.1041
12/30/98	Winter	0.1494	0.1573	-0.0176	-0.1198	0.0723
Mean	—	0.1360	0.1684	0.0095	-0.1092	0.0835
Standard deviation	—	0.0007	0.0068	0.0026	0.0015	0.0093

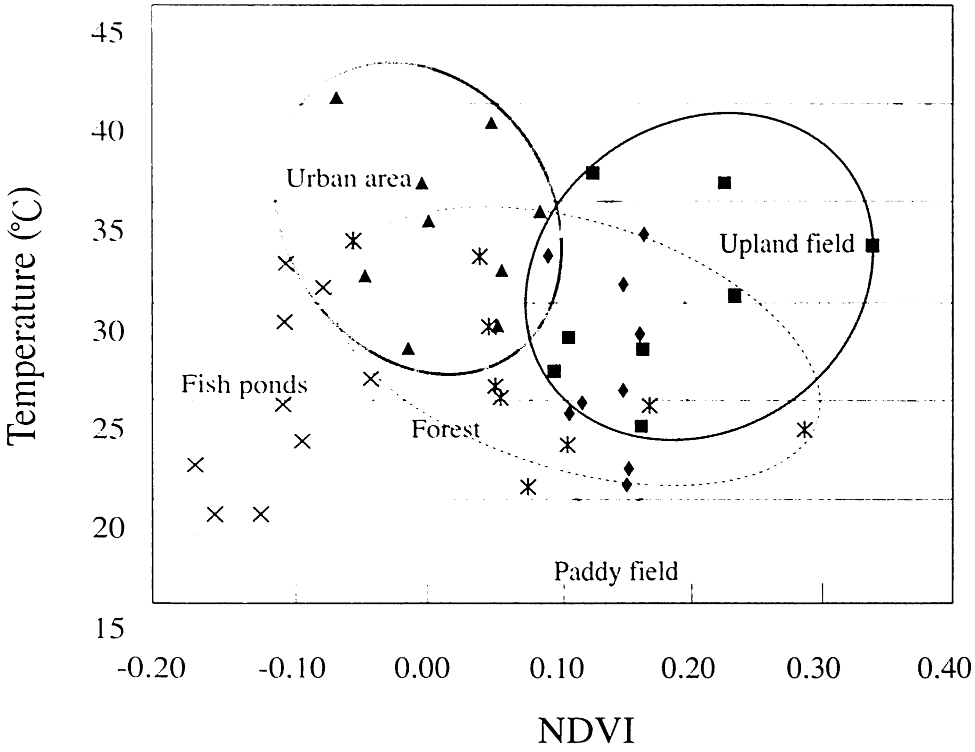
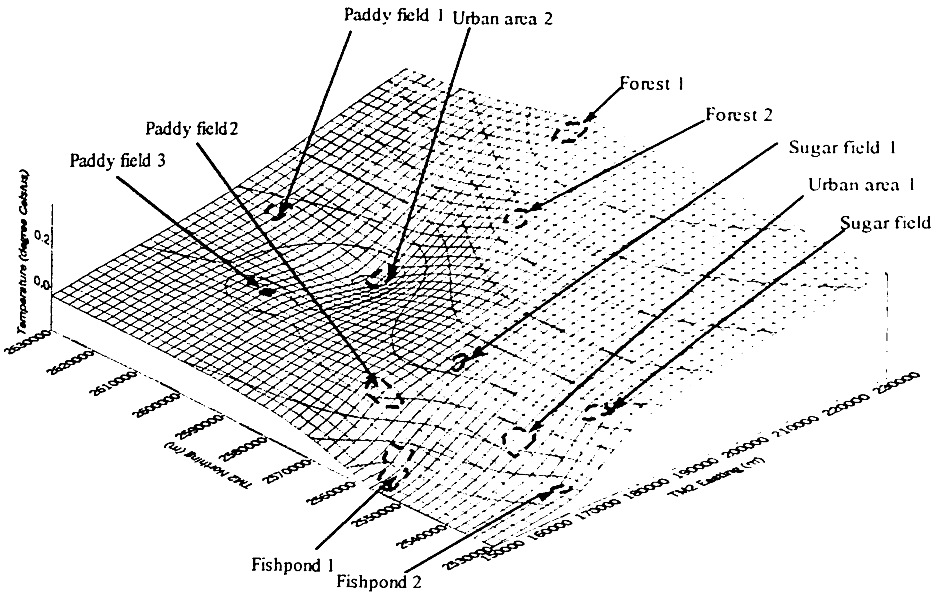


Fig. 5 Normal deviation vegetation index (NDVI) vs. temperature change diagram in different land use.

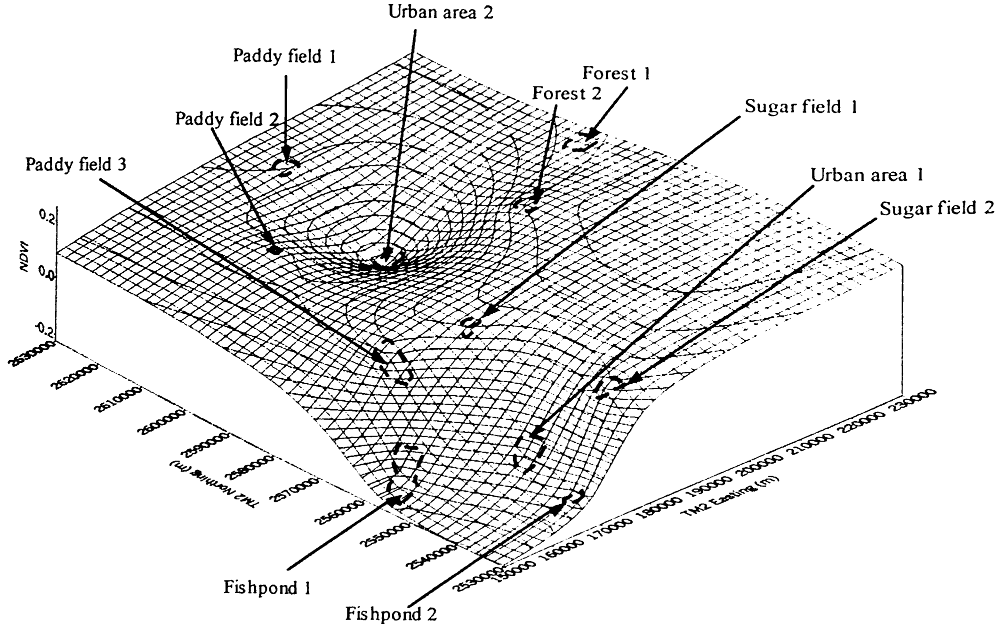
(1987，1991) 都市地區植土綠化對微氣候效應之調查，至 1985 年 7 月至 1989 年 6 月完成台北、台中、台南、高雄等都市區植生綠地之溫度調節效果之研究。以台北市爲例，調查綠壁 (台大學人宿舍之爬牆虎，長興街台大學生宿舍之薜荔) 綠地 (新公園、植物園、國父紀念館) 道路綠地 (仁愛路 3 段 4 段)，調查時間 1987 年 7 至 8 月，結果顯示夏季期間爬牆虎及薜荔對牆面之降溫效果可達 10℃，可減少牆壁往屋內傳之熱量。對熱帶地區台灣，以此綠化牆壁除美化環境外，尙有夏涼之實用功效。但薜荔生長較爬牆虎慢，而爬牆虎冬季落葉，缺乏冬暖效果。濃密樹叢綠地對空氣之冷卻效果顯著，其氣溫可較附近柏油路面低 4～5℃。

1998 年國人的水泥消耗量 (每平方公里每年 546 公噸，而日本爲 233 公噸)、機動車輛 (每平方公里 442 輛，日本爲 223 輛)、住宅自有率、住家衛浴設備數量已經是世界之最；台灣每人用水量是德國 2.4 倍；國宅面積遠大於日本；然而居住環境品質並未相對提高。台灣過去有忽略環保的都市建築政策，使居住環境急速惡化。例如都市人口過度集中 (每平方公里 605 人，而日本爲 335 人)、世界上使用鋼筋混凝土建物最多地方、人造環境不透水化、建物通風通風不良、節能設計不當、造成能源浪費與都市氣溫高溫化。(內政部建築研究所，1999)

內政部建築研究所 (1999) 利用紅外線熱像儀 (IR,Thermoviewer) 及其溫度解析裝置，於 1998 年 8 月 17 日觀測台南縣台電新營區營業處辦公大樓表面溫度，時間 14：37 之南向二丁掛陽台、南向二丁掛外牆、西向二丁掛外牆之溫度分別爲 36.0、36.1、36.8℃，而氣溫爲 34.1℃。使用紅外線熱像儀量測溫度，雖可快速求得建築物表面溫

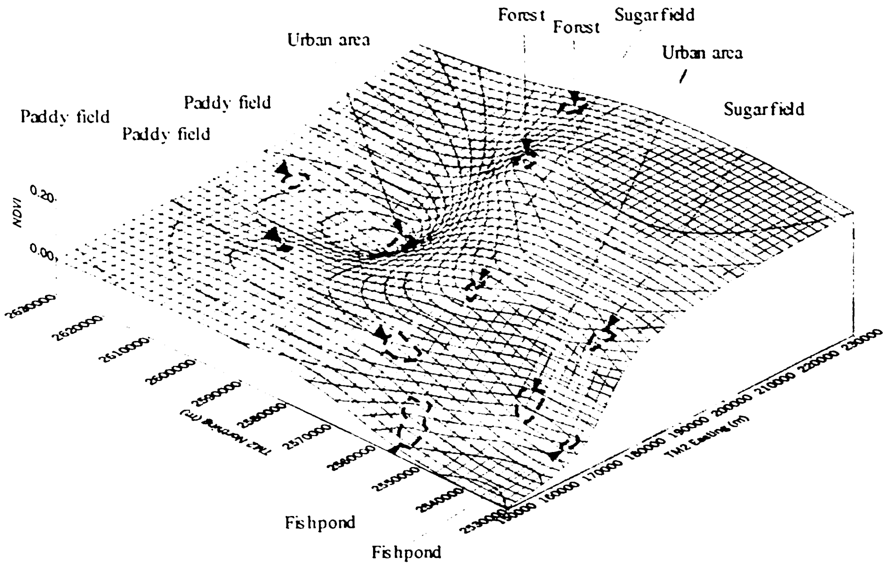


NDVI Contour of Winter(Jan. 3, 1998)

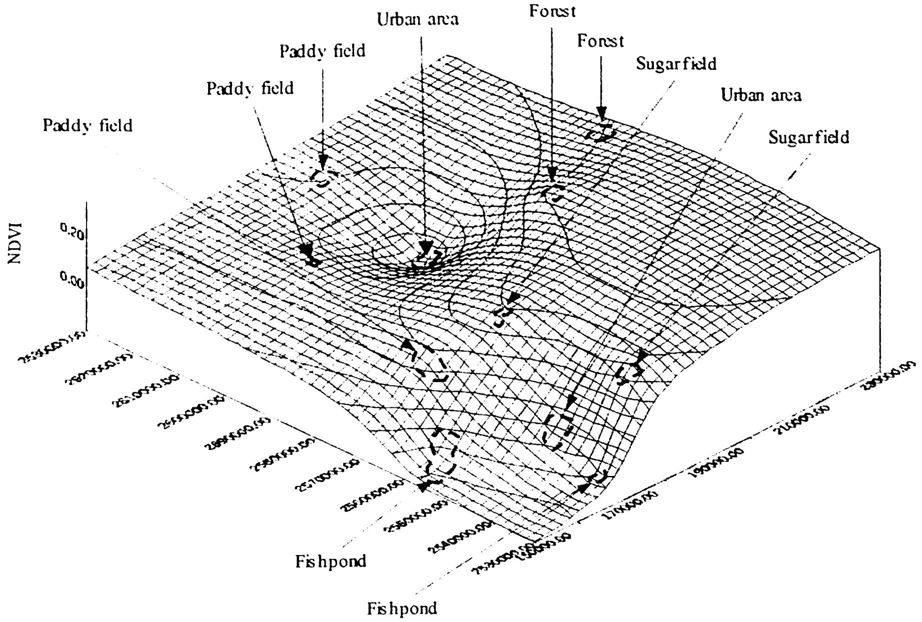


NDVI Contour of Spring(Apr. 4, 1998)

Fig. 6. Seasonal vegetation index contour map in different land use.

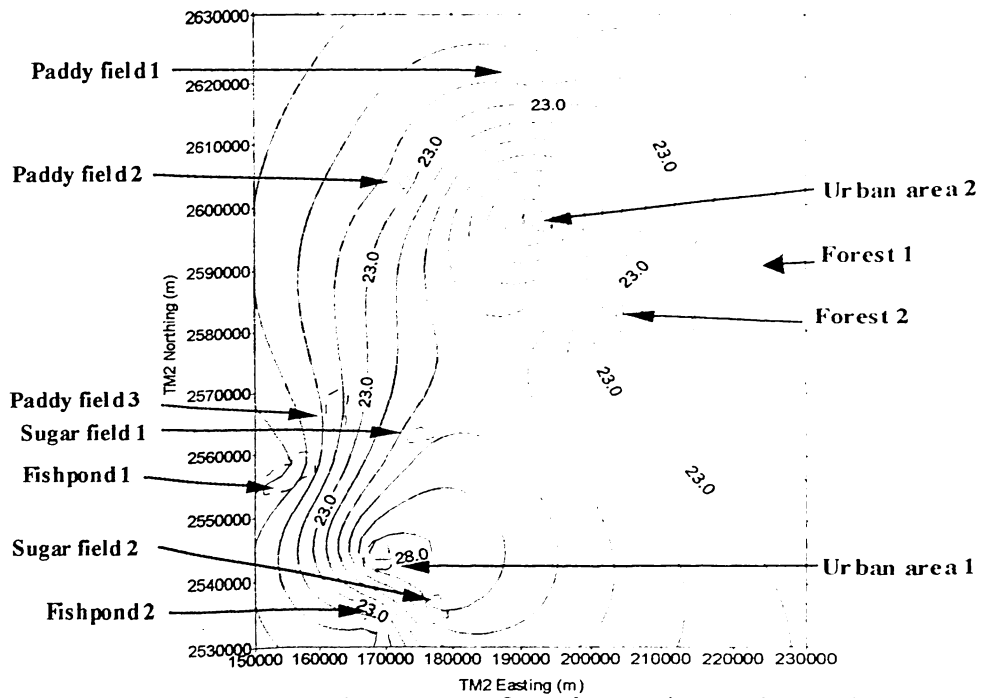


NDVI Contour of Summer(Jul. 16, 1998)

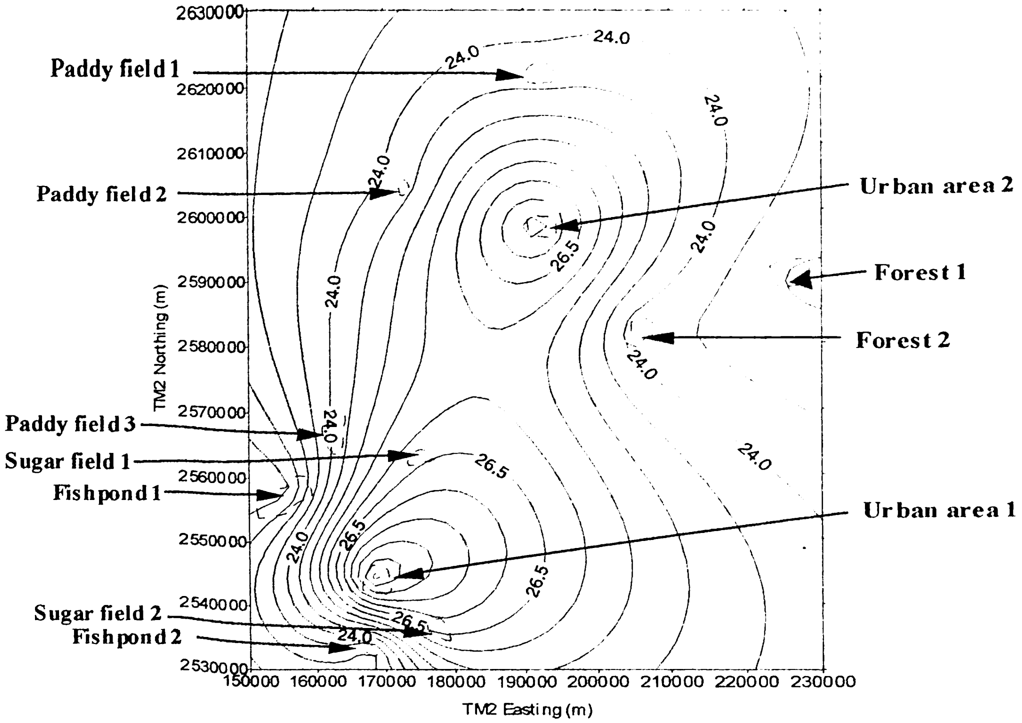


NDVI Contour of Autumn(Oct. 1, 1998)

Fig. 6. Continued.

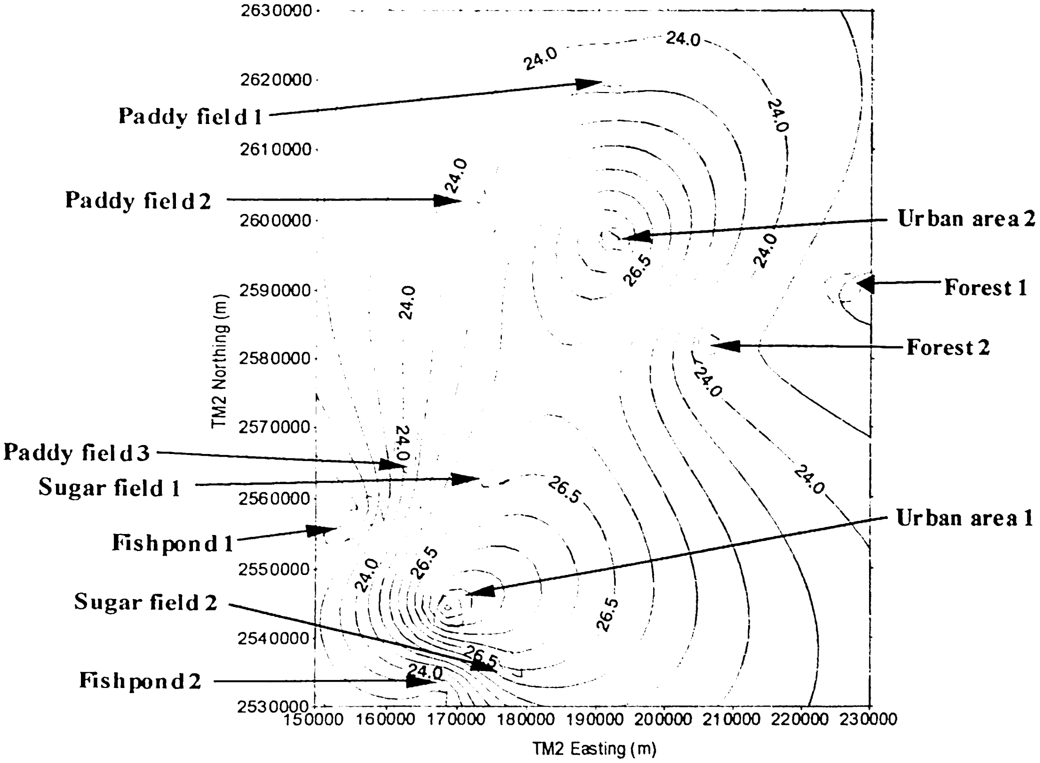


A Temperature Contour of Winter (Jan. 3, 1998)



B Temperature Contour of Spring(Apr. 4, 1998)

Fig. 7. Seasonal temperature change contour map in different land use.



C Temperature Contour of Summer (Jul. 16, 1998)

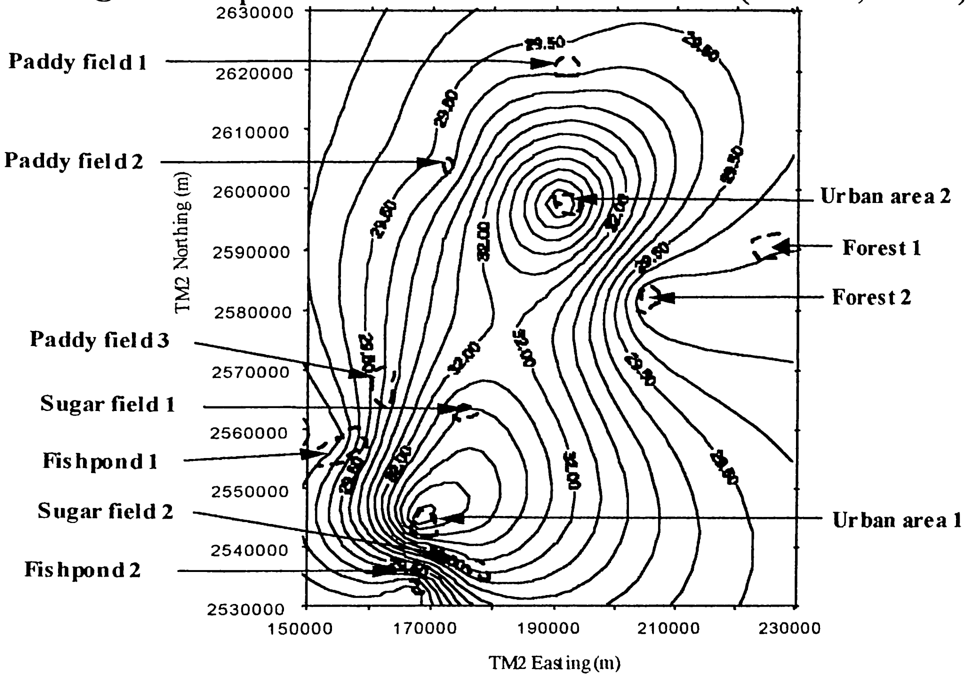


Fig. 7. Continued.

度變化，但局限於小區域；且該設備較貴。

由圖 7 等溫線圖顯示都市之溫度為高溫集中區，水田及森林溫度較低，旱田溫度則介於二者之間。土地利用與溫度之關係，都市溫度高於旱田，又依序高於水田、森林、和魚塭。依顯著性探討，水田、森林、魚塭溫度明顯不同於都市，其他各土地利用溫度均無明顯不同，不顯注原因為本省耕作制度為水田、水旱田輪作田或水旱田混植情形，且年平均雨量 2530 mm，部份降雨入滲為毛管水，作物根系吸收以為蒸發散作用。土地利用與溫度之顯著性關係探討，都市溫度高於旱田，又依序高於水田、森林、和魚塭。水田、森林、魚塭溫度明顯不同於都市，其他各土地利用溫度均無明顯不同。目前環境保護開發時，所進行環境影響評估規劃報告，因當地多無直接設觀測站，收集所欲規劃地區鄰近測站過去觀測之氣象、水文、地質、人文等相關資料，予以分析。對於現行直接引用鄰近測站資料分析方法之正當合理性，雖知道該法迫於時效性為急就章之做法，目前無一套可性可靠分析方法，故仍保留該方法。本研究採遙測技術配合地面氣象資料校核，推估區域內溫度變化之機制及預測未來溫度變化趨勢此分析環境溫度變化之方法流程，可供有關單位進行環境溫度變化影響評估之參考。

三、大區域不同土地利用之植物量對溫度之影響

可以由溫度與 NDVI 之分佈圖 (圖 5) 顯示，其 NDVI 變化高低順序分別為森林 > 旱田 > 水田 > 都市 > 魚塭。溫度與 NDVI 之分佈圖顯示，水田之 NDVI 分佈範圍較窄 (0.07～0.18)，然隨田間生育階段之不同而有較大範圍之溫度變化，其變化範圍達 15 ℃，其點分佈呈直橢圓狀。旱田之溫度及 NDVI 變化範圍均大，其點分佈略呈圓形。都市之平均 NDVI 頗低，溫度偏高，分佈略呈偏斜之橢圓狀，為其土地利用之特色。

圖 6 顯示，其 NDVI 變化高低順序分別為森林 > 旱田 > 水田 > 都市 > 魚塭。又知，都市、魚塭 NDVI 在四季中均為負值，在等 NDVI 圖中形成凹陷，都市 NDVI 為負值，表示植生量少，故溫度較高。魚塭 NDVI 為負值，表示魚塭內雖有藻類亦會行光合作用，會降低溫度，但水体蒸發會吸收蒸發潛熱會降低溫度，但水体會大量吸收近紅外線 (NIR)，使 NDVI 為負值。森林水田蔗田 NDVI 在四季中均為正值，森林 NDVI 漸增，在秋季中為最高 (表示南區為熱帶亞熱帶，85% 降季分佈於 5～10 月)，森林 NDVI 漸增，而溫度變化顯現冬暖夏涼趨勢。甘蔗為 2～3 年生高莖長期作物 (甘蔗為製糖原料，台糖公司採大面積契約耕作)，採分區收成，收穫期為 12～1 月，NDVI 變化葉面增長而增加，在秋季中為最高。水稻田為 1、2 期作之短期作物 (水田生育期間有湛水灌溉，NDVI 變化為水體及作物之組合)，但水体蒸發會吸收蒸發潛熱會降低溫度，但水体會大量吸收近紅外線 (NIR)，使水稻之 NDVI 低於甘蔗，水稻之 NDVI 變化葉面增長而增加，收穫季中為最高值 (為機械收穫而乾田)。

Chen *et al.*, 2001 利用衛星影像資料，推估出美國佛羅里達州之都市、農業區與低濕地區 NDVI-DSTV 三角形內之蒸發散量。該公式 5 可經由不同加權常數 (ω_1，ω_2，ω_3，且 $\omega_1+\omega_2+\omega_3=1$)，經由線性組合，所得結果如表 5 所示，分別表示出在該區域內由都市、農業區與低濕地區之代表溫度及 NDVI，而可推估出為該區域內某點未知溫度及 NDVI，所得結果如圖 8 及表 5 所示。

$$\text{VMC}\ (DSTV_i,\ NDVI_i)=w_1\ \text{VMC}\ (\text{植生})+w_2\ \text{VMC}\ (\text{潮濕土壤})+w_3\ \text{VMC}\ (\text{乾土}) \quad (5)$$

Table 5. DSTV, NDVI and weighting factors for the eight selected land use/cover on Dec. 9, 1996. in Florida

Land Cover Type	DSTV	NDVI	w_1	w_2	w_3
Grassland and Agriculture	17.8843	0.4793	1.0000	0.0000	0.0000
Barren and Urban Land	18.4907	0.1908	0.0000	0.0000	1.0000
Fresh Water Marsh	10.3561	0.3364	0.0000	1.0000	0.0000
Hardwood Forest	15.6545	0.3994	0.5686	0.3063	0.1251
Mangrove Swamp	13.0374	0.3856	0.3502	0.6643	0.0056
Pinelands	14.5082	0.3968	0.4852	0.4534	0.0614
Dry Prairie	18.1054	0.4106	0.7668	-0.0098	0.2429
Cypress Swamp	13.7426	0.3346	0.2120	0.5679	0.2201

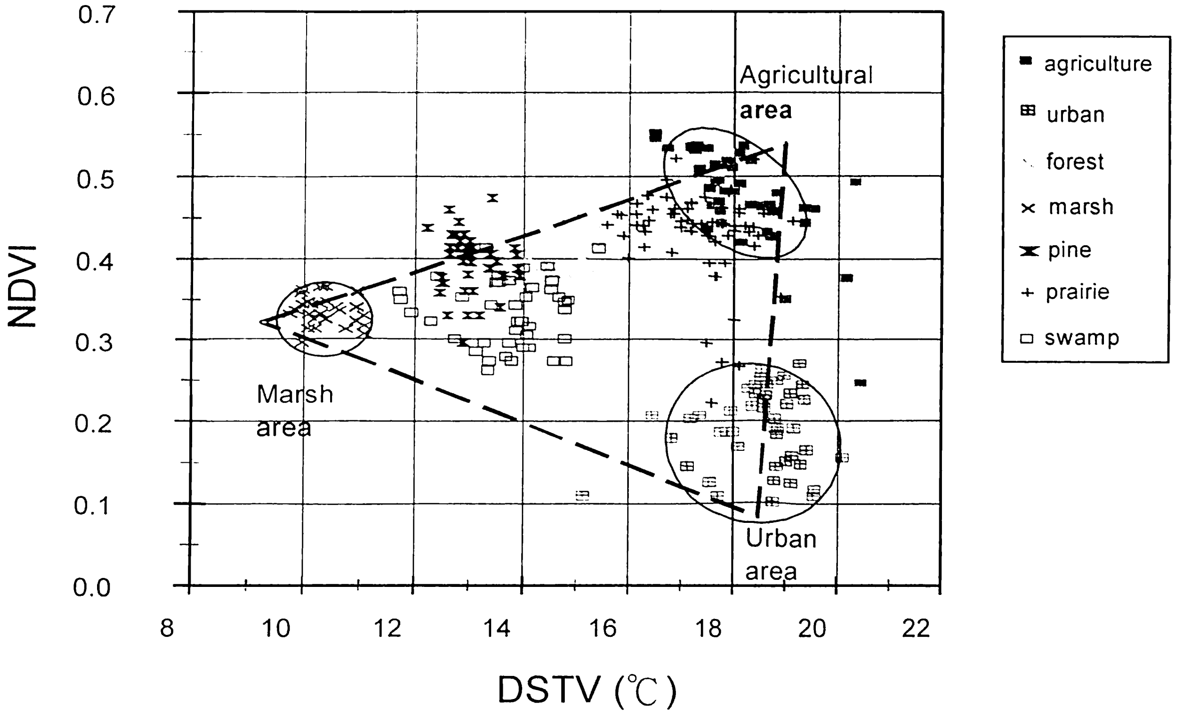


Fig. 8. The NDVI-DSTV triangle approach (Chen *et al.*, 2001).

式中：w_1, w_2, w_3 分別表示所對應植生、潮濕土壤、乾土之權重因子，VMC:植生和土壤含水量係數；VMC 定義爲實際蒸發量與勢能蒸發量之比值，DSTV:爲日夜溫差(℃)，NDVI：正規化植生指標，i：足標 i 表示各時間間隔。

圖 8 (Chen *et al.*,2001) 與圖 5 (本研究中 NDVI-T 之變化圖) 之比較顯示，該圖 5 所得之變異値甚大。經查原因爲各水利會原定灌溉計畫配水，但居民常依市場利潤導向而變更種植或與以休耕，所呈現水旱田混値或工商區混雜於水田區內之現象。每種作物皆有其蒸發散量 (耗水量) 與作物係數 (Kc)，作物係數 (Kc) 爲特定期距下作物蒸發散量 (Etcrop)，與該期距參考作物蒸發散量 (Eto) 之比値

$$Kc=Etcrop/Eto \quad (6)$$

式中：Kc:作物係數 (無因次)，Etcrop:特定

期距下作物蒸發散量 (mm/crop)，Eto:特定期距下參考作物蒸發散量 (mm/crop)。

作物係數依作物類別、栽種季節、生長階段、氣象等條件而有所差異，國內水稻作物係數 (Kc) 之研究 (張等，1965)。而植物與地表附近溫度與蒸發潛熱之關係 (近藤，1994)，在台灣建議修正為：

$$Ts-Ta=Kt((1-\alpha)Rs-LE-G)/(\rho Cph+4\sigma Ta^3) \quad 7$$

式中：Kt:作物對溫度修正係數；Ts，Ta，σ，G，α，Rs，LE等定義如公式2所示。

前述公式 (5) 經由加權常數 (ω_1，ω_2，ω_3，且 $\omega_1+\omega_2+\omega_3=1$)，由線性組合之三角形推估區域內某點未知溫度 T 及 NDVI，該加權常數在台灣不為線性關係，呈現二元二次曲線 (橢圓狀、圓狀)。該修正法個人認為可由主成分分析法，所得到的是組合的變數 (卻不能解釋的變數-作物對溫度修正係數 Kt)。限於時間，本研究未能提出台灣之作物對溫度修正係數，此仍待努力中。

該加權常數在台灣不為線性關係，配合甘 (2002) 所提新田間灌溉管理技術改進之大面積水田深水灌溉之種水政策推動。大面積水田深水灌溉，水田蓄水 25 公分 (現行灌溉水深 6 公分，每日蒸發散量 5～6 mm，每日田間滲漏量 20～30 mm，每五日需輪灌，水深增加，每日蒸發散量不變，每日田間滲漏量可能減至 5～15 mm，每二十日需輪灌)，其條件改變可能為原公式之推導條件 (大面積低溼地)，前述經由加權常數，由線性組合之三角形推估區域內某點未知溫度 T 及 NDVI，可能又適用台灣。此仍待進一步深入探討。

結論與建議

一、結論

(一)不同土地利用與溫度變化趨勢之關係

由等溫線圖顯示都市之溫度為高溫集中區，水田及森林溫度較低，旱田溫度則介於二者之間。土地利用與溫度之關係，都市溫度高於旱田，又依序高於水田、森林、和魚塭。

(二)植物量對氣溫之影響

植物量對溫度之影響，可以溫度與 NDVI 之分佈圖顯示，其 NDVI 變化高低順序分別為森林>旱田>水田>都市>魚塭。溫度與 NDVI 之分佈圖顯示，水田之 NDVI 分佈範圍較窄，然隨田間生育階段之不同而有較大範圍之溫度變化，其點分佈呈直橢圓狀。旱田之溫度及 NDVI 變化範圍均大，其點分佈略呈圓形。都市之平均 NDVI 頗低，溫度偏高、分佈略呈偏斜之橢圓狀。

二、建議

Chen 等 (2001) 利用衛星影像資料推估出美國佛羅里達州之都市、農業區與低濕地區之 NDVI-DSTV 三角形內推估區域內某點未知溫度及 NDVI 公式。在台灣 NDVI-T 之變化圖中顯示，該變異值甚大應修正，該加權常數在台灣不為線性關係，由正交轉軸法或斜交轉軸法克服。

台灣地區植物因蒸發散作用使附近溫度降低之公式，建議加上作物溫度修正係數 Kt，修正適用於台灣水旱作混植區內涼化作用公式。限於時間本研究未對作物溫度修正係數Kt進行探討。

引用文獻

內政部建築研究所 1999 都市建築熱環境可視化觀測與評估之研究。pp23-67。

甘俊二、陳鈞華、黃昱舜 2002 台灣水稻深水灌溉先導試驗研究。中國農工學報48:35-42。

行政院經濟建設委員會、都市及住宅發展處 1998 都市發展統計彙編-民國八十七年。pp23-46。

吳明進 1994 台灣的氣溫和降水長期變化。科學月刊25:122-126。

林金樹 1996 遙測資訊再生態環境變遷監測上應用之研究-以台南地區爲例。台大森林所博士論文pp37-72。

周朝富 1986 大地衛星資訊探測台北地區土地利用變遷之研究。台大碩士論文pp16-36。

徐森雄、唐琦 1994 台北市之都市化對氣溫變化之影響。中央氣象局氣象40:296-300。

徐森雄 1989，1991 都市地區植生綠化對微氣候效應之調查。農業氣象教材pp8-43。

張建勳、甘俊二 1965 作物灌溉需水量之研究。中國農工學報11:1-19。

陳哲俊 1989 利用衛星影像資料改進稻作種植面積自動估測及生育查報計畫。中央大學太空及遙測中心研究計畫pp23-45。

陳哲俊、鄭祈全、劉建慧 1994 利用SPOT衛星影像資料估測水稻生育期間植被光譜之研究。中央大學太空及遙測中心研究計畫pp49-65。

陳清田、陳焜耀、陳鈞華、甘俊二 2000 台灣地域性旱作物需水量推估研究。第十一屆水利工程研討會論文集pp1-5。

陳萬金 1985 利用氣象衛星遙測海面溫度。台灣大學大氣所碩士論文pp18-28。

楊之遠 1985 微氣象之特性及在農業上之應用。氣象學報31:1-13。

楊盛行 1994 氣候變遷對未來農業生產上隻衝擊及因應之道。中華農業氣象14:125-131。

蔡金川 1993 台灣不同期作水稻產量與氣象因素之關係。中日農業氣象研討會論文集pp29-48。

蔡明華 1994 因應加入GATT之農業對策研究-水稻生態環境保護對策。水資源經營研討會pp123-137。

劉建慧 1988 利用SPOT衛星資料求取動態植被光譜之研究。中央大學大氣物理研究所碩士論文pp56-78。

大上博基、福島忠雄、丸山利輔 1994 水田 溫度環境和緩功能。農土誌170:24-32。

近藤純正 1994 水環境 氣象學-表面水收支熱收支。朝倉書局pp345-348。

Carlson T. N., E. M. Perry, and T. J. Schmugge. 1990. Remote estimation of soil moisture availability and fractional vegetation cover for agricultural fields. *Agricultural and Forest Meteorology*, 52:45-69.

Chen, J. H., C. E. Kan, C. H. Tan, and S. F. Shih. 2001. Use of spectral information for wetland evapotranspriation assessment.Agricultural water management(accepted august 6,2001,AGWAT 474).

Geotz, R. D. 1994. Empirical and practical approaches to land surface characterisation and change detection., Remote Sensing for Land Degradation and Desertification Monitoring in the Mediterranean Basin. Proc. of a workshop held in Valencia,Spain,13-14 June.

Humes, K. S., W. P. Kustas, and T. J. Schmugge. 1995. Effects of soil moisture and spatial resolution on the surface temperature/vegetation index relationship for a semiarid watershed. *American Meteorological Society Conference on Hydrology Preprints*, Dallas, Texas, pp.147-151.

International Panel on Climate Change (IPCC) 1995. Climate change 1995-the supple mentary report to IPPC scientific assessment. Cambridge university press.

Jackson R. D. 1982. Soil moisture inferences from thermal infrared measurements of vegetation temperatures. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 20:282-286.

Lenney, M. P., C.E.Woodcock, J. B. Collins, and H. Hamdi. 1996. The Status of Agricultural Lands in Egypt: The Use of Multitemporal NDVI Features Derived from Landsat TM. Remote Sensing on Environment ., 56:8-20.

Moran M. S., T. R., Clarke, Y. Inoue, and A. Vidal. 1994. Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 49:246-263.

Morse A., T. J. Zarriello, and W. J. Wramber. 1990. Using Remote Sensing and GIS Technology to Help Adjudicate Idaho Water Rights. Photogrammertric Engineering and Remote Sensing, 56:365-370.

Ottl'e C. and D. Vidal-Madja. 1992. Estimation of Land Surface Temperature with NOAA9 Data. REMOTE SENS.ENVIRON. , 40:27-41.

Smith R.C.G., and B. J. Choudhury. 1991. Analysis of normalized difference and surface temperature observations over southeastern Australia. *International Journal of Remote Sensing*, 12:2021-2044.

Sommer S., J. Hill, and J. M'egier. 1998. The potential of remote sensing for monitoring rural land use changes and their effects on soil conditions. Agriculture Ecosystems and Environment 67:197-209。

Toan, T. L., and T. Ribbes. 1997. Rice Crop Mapping and Monitering Using ERS-1 Data Based on Experiment and Modeling Results. IEEE Transations on Geoscience and Remote Sensing, 35:42-56.